



中国机械工程学科教程配套系列教材
教育部高等学校机械类专业教学指导委员会规划教材

机械设计教程

——理论、方法与标准（第2版）

黄平 朱文坚 王恩祖 王亚珍 主编

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书是根据“机械设计课程教学基本要求”和“高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系教学改革计划”等有关文件精神,为适应当前教学改革发展趋势而编写的,共分两篇。第 1 篇为机械设计理论(第 1~13 章),包括:机械设计概论,疲劳强度,摩擦磨损与润滑,连接与螺旋传动,带传动,链传动,齿轮设计,蜗杆传动,轴,滚动轴承,滑动轴承,弹簧,联轴器、离合器与制动器。各章附有一定数量的习题。第 2 篇为传动系统设计方法(第 14~18 章),包括:零件设计、结构设计、设计图和设计说明书、课程设计参考图例及设计题目。另外,还包括机械设计常用国家标准和设计规范共 12 个附录以二维码形式呈现。

本书可以作为高等学校机械类专业机械设计与课程设计教材,也可作为有关工程技术人员的参考书籍。

版权所有,侵权必究。举报:010-62782989, beiqinquan@tup.tsinghua.edu.cn。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计教程:理论、方法与标准/黄平等主编. —2 版. —北京:清华大学出版社,2023.9
中国机械工程学科教程配套系列教材 教育部高等学校机械类专业教学指导委员会规划教材
ISBN 978-7-302-64409-5

I. ①机… II. ①黄… III. ①机械设计—高等学校—教材 IV. ①TH122

中国国家版本馆 CIP 数据核字(2023)第 152418 号

责任编辑:刘 杨

封面设计:常雪影

责任校对:赵丽敏

责任印制:杨 艳

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-83470000 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:大厂回族自治县彩虹印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:23

字 数:556 千字

版 次:2011 年 3 月第 1 版 2023 年 9 月第 2 版

印 次:2023 年 9 月第 1 次印刷

定 价:65.00 元

产品编号:087962-01

中国机械工程学科教程配套系列教材
教育部高等学校机械类专业教学指导委员会规划教材

编 委 会

顾 问
李培根院士

主 任 委 员
陈关龙 吴昌林

副主任委员
许明恒 于晓红 李郝林 李 旦 郭钟宁

编 委 (按姓氏首字母排列)
韩建海 李理光 李尚平 潘柏松 芮执元
许映秋 袁军堂 张 慧 张有忱 左健民

秘 书
庄红权

清华大学出版社

丛书序言

PREFACE

我曾提出过高等工程教育边界再设计的想法,这个想法源于社会的反应。常听到工业界人士提出这样的话题:大学能否为他们进行人才的订单式培养。这种要求看似简单、直白,却反映了当前学校人才培养工作的一种尴尬:大学培养的人才还不是很适应企业的需求,或者说毕业生的知识结构还难以很快适应企业的工作。

当今世界,科技发展日新月异,业界需求千变万化。为了适应工业界和人才市场的这种需求,也即是适应科技发展的需求,工程教学应该适时地进行某些调整或变化。一个专业的知识体系、一门课程的教学内容都需要不断变化,此乃客观规律。我所主张的边界再设计即是这种调整或变化的体现。边界再设计的内涵之一即是课程体系及课程内容边界的再设计。

技术的快速进步,使得企业的工作内容有了很大变化。如从 20 世纪 90 年代以来,信息技术相继成为很多企业进一步发展的瓶颈,因此不少企业纷纷把信息化作为一项具有战略意义的工作。但是业界人士很快发现,在毕业生中很难找到这样的专门人才。计算机专业的学生并不熟悉企业信息化的内容、流程等,管理专业的学生不熟悉信息技术,工程专业的学生可能既不熟悉管理,也不熟悉信息技术。我们不难发现,制造业信息化其实就处在某些专业的边缘地带。那么对那些专业而言,其课程体系的边界是否要变?某些课程内容的边界是否有可能变?目前不少课程的内容不仅未跟上科学研究的发展,也未跟上技术的实际应用。极端情况甚至存在有些地方个别课程还在讲授已多年弃之不用的技术。若课程内容滞后于新技术的实际应用好多年,则是高等工程教育的落后甚至是悲哀。

课程体系的边界在哪里?某一门课程内容的边界又在哪里?这些实际上是业界或人才市场对高等工程教育提出的我们必须面对的问题。因此可以说,真正驱动工程教育边界再设计的是业界或人才市场,当然更重要的是大学如何主动响应业界的驱动。

当然,教育理想和社会需求是有矛盾的,对通才和专才的需求是有矛盾的。高等学校既不能丧失教育理想、丧失自己应有的价值观,又不能无视社会需求。明智的学校或教师都应该而且能够通过合适的边界再设计找到适合自己的平衡点。

我认为,长期以来,我们的高等教育其实是“以教师为中心”的。几乎所有的教育活动都是由教师设计或制定的。然而,更好的教育应该是“以学生

为中心”的,即充分挖掘、启发学生的潜能。尽管教材的编写完全是由教师完成的,但是真正好的教材需要教师在编写时常怀“以学生为中心”的教育理念。如此,方得以产生真正的“精品教材”。

教育部高等学校机械设计制造及其自动化专业教学指导分委员会、中国机械工程学会与清华大学出版社合作编写、出版了《中国机械工程学科教程》,规划机械专业乃至相关课程的内容。但是“教程”绝不应该成为教师们编写教材的束缚。从适应科技和教育发展的需求而言,这项工作应该不是一时的,而是长期的,不是静止的,而是动态的。《中国机械工程学科教程》只是提供一个平台。我很高兴地看到,已经有多位教授努力地进行了探索,推出了新的、有创新思维的教材。希望有志于此的人们更多地利用这个平台,持续、有效地展开专业的、课程的边界再设计,使得我们的教学内容总能跟上技术的发展,使得我们培养的人才更能为社会所认可,为业界所欢迎。

是以为序。



2009年7月

第 2 版前言

FOREWORD

《机械设计教程——理论、方法与标准》第 2 版是在第 1 版的基础上,根据作者多年在机械设计课程教学中的经验和读者反馈进行调整、修改而成的。

本书第 2 版基本上保留了第 1 版的系统框架,共分 18 章。除了修改了前版的一些错漏,更新了国家标准外,主要修订的内容还包括:

(1) 将原来第 14 章的内容提到第 1 章。其目的一是使学习者初学伊始就对机械设计有一个整体的了解。二是为开设系列习题做铺垫。

(2) 如前所述,本版将课程设计中常做的二级展开式齿轮减速器设计作为系列习题分散在第 1、5、6、7、9、10、13 章,以加强学生对机械设计中各零件设计之间联系的认识。

(3) 将原来 18.2 节的设计题目的内容提前到第 14 章中。

(4) 除了增加的系列习题外,还更换了大部分的习题,包括:判断题、选择题、问答题、计算题和结构题等。

(5) 为了更好地利用已有的网络资源,本版通过二维码的形式将所有附录、理论和实验教学视频制作成网上资源供学习者通过扫描查询和学习。借助教材和电子资源,读者完全可以自学本书的主要内容。

参加本版主要编写工作的是王慰祖和王亚珍。孙建芳为本版的附录内容提供了最新国家标准资料。王文萍对第 14~18 章的内容做了审核与修订。黄平负责全书的最终审定。参加视频录制的有:黄平、陈扬枝、翟敬梅、徐晓、李旻、孙建芳、何军、冯梅、刘新育和何亚农。

我们希望通过本版的修订使本书内容更加完善。我们也充分认识到,随着科学技术的不断发展,必将给机械设计内容增加更新和更多的内容。因此,本书必然存在改进之处,敬请广大读者批评指正。

最后,作者对本书编写给予支持与帮助的同事和学生致以最诚挚的感谢!

作 者

2023 年 6 月于广州

清华大学出版社

第 1 版前言

FOREWORD

本书是根据教育部新制定的“机械设计教学基本要求”等文件精神,充分吸取了高校近年来的教学改革经验,并结合多年教学经验而编写的。根据国内大部分本科院校的机械设计课程教学实际,我们进行了较显著的教材改革尝试。

目前国内的《机械设计》和《机械设计课程设计》本科教学安排多是独立进行的,一般是在完成 56~72 学时的理论和实验教学后,再进行 2~3 周的课程设计,将理论教学中所讲授的内容,以一个机械装置(常为减速箱)为题目进行全面的设计和训练。由于这两个阶段是分开进行的,因此采用的教材也是分开编写的。学生在学习和课程设计过程中,不仅需要同时使用这两本教材,另外由于设计参数不同和为了训练的需要,在设计过程中还需要查各类数据表格,因此需要使用机械设计手册。

多年教学实践表明,一般的课堂教学和课程设计都是由同一教师,并在同一学期完成的,因此将《机械设计》和《机械设计课程设计》两本教材合并是可行的,方便教师和学生使用。另外,现在一般图书馆无法提供大量的《机械设计手册》,因此许多学生只能依赖目前《机械设计课程设计》教材中提供的少量数据表格和图线,不仅会导致设计时选择范围大大压缩,学生无法得到较好的训练,甚至有时会选择一些并不适合的数据进行设计,导致设计不合理。

为此,我们将目前的《机械设计》与《机械设计课程设计》两本教材合并,统一编写,不仅把两阶段的课程教学内容更紧密地联系,而且为开设此课程的教师和学生带来了方便。同时,考虑计算机已经广泛使用,我们采用附录的形式将课程设计所需的表格编入书中,解决了目前教科书无法涵盖所有需要使用的数据和图书馆手册不足的问题。另外,在附录 M 中还提供一份机械设计试题样题和参考答案,供学生备考时使用。

本教材由黄平和朱文坚主编,具体参加编写工作的有:朱文坚(第 1 章、第 14~18 章),黄平(第 2~4 章、篇序及附录 A~C、附录 I、附录 L、附录 M),靳龙(第 5、6 章、附录 D)、王慰祖(第 7、12 章、附录 H、附录 K),王红志

(第8、9章、附录G),刘晓初(第10章部分、第11章)、骆雯(第10章部分、附录F),陈英俊(第13章、附录E、附录J)。

作为教学改革的一项尝试,在本教材编写中一定会有不足之处,加上编者的水平和时间有限,错误之处在所难免,希望读者予以批评指正。

编 者

2010年12月

清华大学出版社

第 1 篇 机械设计理论

第 1 章 机械设计概论	3
1.1 概述	3
1.2 机械零件的工作能力和计算准则	4
1.3 机械零件常用材料和制造工艺性	6
1.4 机械传动系统设计	9
习题	18
第 2 章 机械零件的疲劳强度	20
2.1 概述	20
2.2 变应力的类型和特性	20
2.3 疲劳极限应力及其线图	21
2.4 稳态变应力疲劳强度	25
2.5 非稳态变应力疲劳强度	27
2.6 接触疲劳强度	28
习题	29
第 3 章 摩擦、磨损与润滑	32
3.1 概述	32
3.2 摩擦	34
3.3 磨损	35
3.4 润滑材料	37
3.5 润滑	41
习题	48
第 4 章 连接与螺旋传动	50
4.1 概述	50
4.2 螺纹连接	50
4.3 键连接	70

4.4 销连接	75
4.5 其他连接	76
4.6 螺旋传动	79
习题	85
第5章 带传动	91
5.1 概述	91
5.2 带传动受力与应力分析	92
5.3 带的弹性滑动和打滑	95
5.4 V带类型与带轮结构	96
5.5 V带传动设计	99
5.6 带传动的张紧装置	109
5.7 同步带传动简介	110
习题	112
第6章 链传动	115
6.1 概述	115
6.2 滚子链结构与标准	115
6.3 链传动运动与受力分析	120
6.4 滚子链设计	123
6.5 链传动的布置与张紧	127
习题	128
第7章 齿轮设计	131
7.1 概述	131
7.2 齿轮的失效形式与设计准则	131
7.3 齿轮材料与许用应力	134
7.4 齿轮传动载荷计算	138
7.5 齿轮传动强度计算	141
7.6 齿轮的结构	160
习题	161
第8章 蜗杆传动	165
8.1 概述	165
8.2 圆柱蜗杆传动	165
8.3 蜗杆传动的结构、材料与设计准则	173
8.4 蜗杆传动的受力分析和效率计算	175
8.5 蜗杆传动的设计	177
习题	185

第 9 章 轴	188
9.1 概述	188
9.2 轴的强度设计	191
9.3 轴的刚度设计	195
9.4 轴结构设计	197
9.5 提高轴系性能的措施	200
习题	209
第 10 章 滚动轴承	212
10.1 概述	212
10.2 滚动轴承的类型和代号	212
10.3 滚动轴承受力分析和失效形式	219
10.4 滚动轴承寿命计算	220
10.5 滚动轴承静强度设计	224
10.6 角接触球轴承和圆锥滚子轴承设计	225
10.7 滚动轴承的组合设计	229
习题	234
第 11 章 滑动轴承	238
11.1 概述	238
11.2 滑动轴承的结构与材料	239
11.3 混合润滑滑动轴承设计	245
11.4 流体动力润滑径向滑动轴承设计	248
11.5 其他滑动轴承简介	257
习题	258
第 12 章 弹簧	261
12.1 概述	261
12.2 弹簧的材料和制造	262
12.3 普通圆柱螺旋弹簧设计	263
12.4 其他类型弹簧简介	271
习题	274
第 13 章 联轴器、离合器与制动器	275
13.1 概述	275
13.2 联轴器	275
13.3 离合器	281
13.4 制动器	284

习题	286
第2篇 传动系统设计方法	
第14章 设计题目	291
14.1 设计带式运输机上的V带——单级圆柱齿轮减速器	291
14.2 设计带式输送机的V带——二级圆柱齿轮传动装置	292
14.3 设计皮带运输机锥齿轮——圆柱齿轮传动装置	292
14.4 设计单级蜗杆——链传动减速器	293
14.5 设计皮带运输机蜗杆——V带传动装置	294
14.6 设计带式运输机传动装置	295
14.7 设计某热处理厂零件清洗用传送设备	296
第15章 零件设计	297
15.1 传动零件的设计	297
15.2 轴系零件的初步选择	298
第16章 结构设计	300
16.1 机架类零件的结构设计	300
16.2 传动零件的结构设计	303
16.3 减速器的结构设计	303
第17章 设计图和设计说明书	312
17.1 概述	312
17.2 装配图	312
17.3 设计和绘制减速器零件工作图	325
17.4 编写设计计算说明书	330
第18章 课程设计参考图例	333
参考文献	350
附录	351
附录A 标准代号与制图标准	351
附录B 常用材料	351
附录C 公差和表面粗糙度	351
附录D 螺纹与螺纹零件	351
附录E 键和销	351
附录F 紧固件	351
附录G 齿轮、蜗杆及蜗轮的精度	351

附录 H 滚动轴承	351
附录 I 润滑剂与密封件	351
附录 J 联轴器	351
附录 K 电动机	351
附录 L 减速箱配件与尺寸	351

清华大学出版社

清华大学出版社

第1篇 机械设计理论



机械的发展是人类文明和社会进步的象征。早在远古时代,人类已经开始使用石块和木棒谋生,并用蚌壳和兽骨制成简单的工具捕猎动物。我们的祖先在古代已开始使用简单的机械,例如在 170 万年前已使用石器;在 3 万年前已使用箭和原始的犁、刀、锄等;在 4000 多年前,已制造和使用比原始机械复杂和先进的古代机械,如记里鼓车、独轮车、水运仪象台、地球仪、指南车、纺纱机、水力纺纱机、火枪、火炮、缫丝机、走马灯、罗盘和罗盘针、造纸技术等。18 世纪蒸汽机的发明和广泛应用使动力机械代替了人力和畜力,它所提供的巨大动力促使人类社会发生了翻天覆地的变化。科学技术的飞速发展及各学科之间的相互交叉和渗透,以及新材料、新能源、新产品不断出现,促进了机械设计理论和方法的发展。

本篇介绍机械设计的基本内容,包括:机械设计概论,疲劳强度,摩擦磨损与润滑,连接与螺旋传动,带传动,链传动,齿轮设计,蜗杆传动,轴,滚动轴承,滑动轴承,弹簧,联轴器、离合器与制动器共 13 章。这些通用机械零件都是在一般机械中常见的零件,它们的设计是其他机械零件和设备设计的基础。

学习本篇的目的是使机械类各专业学生掌握机械设计的基本知识、理论和方法,培养学生具有一定的机械设计能力及决策能力,能初步设计机械传动装置和简单机械。通过学习,不仅要掌握机械零件的设计计算、一般方法和步骤,而且要学会对零件的简化处理、数理模型的建立、材料和热处理方法的选择、公差配合的选用,以及机器的保养维护等多方面的知识。需要指出,通常机械设计的结果都不是唯一的,设计者需要认真考虑设计、加工、经济等多方面因素,从中找出较合理的解决方案。熟练掌握本篇的内容,才能做好下一阶段的课程设计,并为今后学习专业机械装备的设计打下良好的基础。

清华大学出版社

机械设计概论



概论

1.1 概 述

1.1.1 机械设计的基本要求

虽然各种机械的用途、功能要求、工作原理各不相同,但其设计的要求基本相同,大体有以下几点。

1. 实现预定功能,满足运动和动力的要求

功能要求是指用户提出的使用性能的要求,满足功能要求是机械设计的最基本出发点。设计者一定要使设计对象能实现功能要求。

运动要求指设计对象能实现运动速度和运动规律,满足工作平稳性等要求。动力要求指设计对象应具有足够的功率,以保证设计对象完成预定的功能。可通过正确选择工作原理、机构类型和机械系统传动方案来满足运动和动力要求。

2. 可靠性和安全性的要求

可靠性指机械在规定的使用条件下,在规定的时间内,完成规定功能的能力。工作安全是机械工作的首要条件。设计时必须合理地进行机械系统的整体设计、零部件的结构设计,正确选择材料、热处理方法和加工工艺来满足安全可靠的要求。

3. 结构设计的要求

机械设计的最终成果都是以一定的结构形式来表现,并且按照设计的结构进行加工、装配出产品,以满足使用要求。机械零件设计时,各种计算都要以确定的结构为基础,机械设计公式都只适用于某种特定的机构或结构要求。如果不事先选定某种结构,机械零件的设计计算是无法进行的。

结构设计关系到整个机器的性能,零部件的强度、刚度、使用寿命、加工工艺性,人机环境系统的协调性,运输安全性等。因此结构设计的结果对满足产品功能要求具有十分重要的意义。

4. 工艺性及三化的要求

机械及其零部件应有良好的加工工艺性,具体表现为制造方便、装拆容易、加工精度及表面粗糙度选择合理。设计的零部件尽可能标准化、通用化、系列化,以降低制造成本和提

高设计质量。

5. 其他特殊要求

由于工作环境和要求使用不同,某些机械还需要满足一些特殊要求。例如,食品机械有卫生防疫的要求;纺织机械有不得污染产品的要求;机床有较长期保持精度的要求等。

1.1.2 机械零件设计的一般程序

机械零件
设计的基本
要求和
一般程序

不同种类的机械零件的设计计算方法不同,设计步骤亦不同,通常可按以下设计步骤进行。

- (1) 选择类型 主要根据工况条件、载荷性质及尺寸大小选择零件的类型。
- (2) 受力分析 通过受力分析求出作用在零件上的载荷性质、大小、方向,以便进行设计计算。
- (3) 选择材料 根据零件工况条件及受载情况,选择合适的材料及热处理方法,确定材料的硬度和许用应力。
- (4) 确定计算准则 分析机械零件的失效形式,确定其设计计算准则。
- (5) 设计计算 根据设计准则得到设计或校核计算公式,确定机械零件的主要几何尺寸及参数,如螺栓的小径、齿轮的齿数和模数、轴的最小直径等。
- (6) 结构设计 在确定了机械零件的主要几何尺寸及参数后,要进行结构设计,内容包括完成机械零件外形结构形式、截面形状、尺寸大小等其他尺寸及参数的设计。结构设计中应考虑零件的强度、刚度、加工和装配工艺性等要求,使设计的零件满足尺寸小、重量轻、结构简单等基本要求。
- (7) 绘制工作图 工作图必须符合制图标准,要求尺寸齐全,并标上必要的尺寸公差、形位公差、表面粗糙度及技术条件等。
- (8) 编写设计说明书 将设计计算资料整理成设计说明书,作为技术文件存档。

机械基础
实验简介

1.2 机械零件的工作能力和计算准则

1.2.1 机械零件的工作能力

机械零件的工作能力是指在一定的工况条件下(包括载荷、运动和环境等),在设计预定的期间内,不发生失效的安全工作限度。衡量机械零件工作能力的指标称为零件的工作能力准则。这些准则包括强度、刚度、耐磨性、振动稳定性和耐热性。

1.2.2 机械零件的计算准则

机械零件
的失效形
式和设
计准则概
述

零件的工作能力准则是计算并确定零件基本尺寸的主要依据,故称为计算准则。对于具体的零件,应根据它们的主要失效形式,采用相应的计算准则。

1. 静强度准则

静强度是保证机械零件在静载荷工况条件下能正常工作的基本要求。零件的强度不够,就会出现整体断裂或塑性变形等失效形式而丧失工作能力,甚至导致安全事故。静强度准则就是指零件中的最大应力小于或等于许用应力,即

$$\sigma \leq [\sigma] \quad (1.1a)$$

或

$$\tau \leq [\tau] \quad (1.1b)$$

式中, σ 和 τ 分别为零件的工作正应力和剪应力; $[\sigma]$ 和 $[\tau]$ 分别为材料的许用正应力和许用剪应力,它们可以通过将材料的屈服极限(塑性材料)或是强度极限(脆性材料)除以适当的安全系数得到。

2. 疲劳强度准则

疲劳强度是保证机械零件在变载荷工况条件下,能在规定的时间内正常工作而不破坏的基本要求。零件疲劳强度不够,就会在其工作寿命期间内出现疲劳断裂、疲劳点蚀等失效形式而丧失工作能力,甚至导致安全事故。疲劳强度准则与式(1.1)类似,但是疲劳强度的许用应力要按下式计算:

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{\lim}}{S_{\sigma}} \quad (1.2a)$$

或

$$[\tau] = \frac{\tau_{\lim}}{S_{\tau}} \quad (1.2b)$$

式中, S_{σ} 和 S_{τ} 分别为疲劳强度的正应力和剪应力的安全系数; $\sigma_{\lim}$ 和 $\tau_{\lim}$ 分别为材料的正应力和剪应力疲劳强度极限。

特别需要指出的是:按疲劳强度设计时,因为载荷是变化的,零件的工作应力不再是简单的正应力或剪应力,除了需要考虑应力的均值和变化幅值的大小外,还必须考虑载荷变化规律的影响。另外,疲劳强度与许多因素(如载荷性质、零件尺寸、表面加工精度、应力集中情况等)有关,因此在这类机械零件的设计过程中,必须根据具体工况加以修正。(有关内容详见第2章及其他具体章节。)

3. 摩擦学设计准则

耐磨性是指作相对运动零件的工作表面抵抗磨损的能力。机械零件磨损后,尺寸与形状将发生改变,会降低机械的工作精度,强度被削弱。据统计,由于磨损而导致失效的零件约占全部报废零件的80%。

由于目前对磨损的计算尚无可靠和定量的计算方法,因此常采用条件性计算,主要是验算表面压强 p 不超过许用值,以保证工作面不致产生过度磨损。另外,验算压强和速度乘积 $p v$ 值不超过许用值,以限制单位接触表面上单位时间内产生的摩擦功不致过大,以防止发生胶合破坏。有时还须验算工作速度 v 。这些准则可写成

$$p \leq [p] \quad (1.3a)$$

$$pv \leq [pv] \quad (1.3b)$$

$$v \leq [v] \quad (1.3c)$$

式中, p 为工作表面的压强; v 为工作速度; $[p]$ 为材料的许用压强; $[v]$ 为 v 的许用值; $[pv]$ 为 pv 的许用值。

对流体润滑的设计, 其设计准则应写为:

$$h_{\min} \geq [h] \quad (1.4)$$

式中, $h_{\min}$ 是流体膜最小厚度; $[h]$ 是需用膜厚, 一般取 2~3 倍的两表面粗糙度之和。

4. 刚度准则

刚度是指零件在载荷作用下抵抗变形的能力。若零件刚度不够, 其弯曲挠度或扭转角超过允许的限度后, 将影响机械系统正常工作。例如车床主轴的变形过大, 将影响加工精度; 齿轮轴的挠度过大, 将影响一对齿轮的正确啮合, 并会增加载荷沿齿宽分布的不均匀性。

机械零件在载荷作用下所产生的变形量应小于或等于机器工作时所允许的变形量的极限值, 即

$$y \leq [y] \quad (1.5a)$$

$$\theta \leq [\theta] \quad (1.5b)$$

$$\varphi \leq [\varphi] \quad (1.5c)$$

式中, y 、 θ 和 φ 分别为零件工作时的挠度、偏转角和扭转角; $[y]$ 、 $[\theta]$ 和 $[\varphi]$ 分别为零件的许用挠度、许用偏转角和许用扭转角。

5. 温度准则

在蜗杆传动和滑动轴承中, 由于它们的摩擦功耗较大, 会产生大量的热而导致温度明显增加。过高的温度会急剧降低润滑油的黏度, 甚至使其解附或裂解, 从而导致胶合和严重磨损等失效的发生。因此在这些零件设计中, 通常需要进行热平衡计算, 以保证润滑油有足够的黏度能正常润滑。热平衡计算的依据就是温度设计准则, 其表达式为:

$$t \leq [t] \quad (1.6)$$

式中, t 为工作温度, $[t]$ 为许用温度。

另外, 还有可靠性准则、稳定性准则等, 需要详细了解有关内容的可参考相关书籍。

1.3 机械零件常用材料和制造工艺性

1.3.1 机械零件材料的选用原则

从各种各样的材料中选择出适用的材料, 是一个复杂的技术和经济问题, 通常主要考虑以下三方面的要求。

1. 使用要求

满足使用要求是选择材料的最基本原则。使用要求通常包括零件所受载荷的大小、性



机械零件
材料的选
用原则及
常用材料

质及其应力状况。例如,若零件尺寸取决于强度,且尺寸和重量又受到限制时,应选用强度较高的材料或强度极限与密度的比值较高的材料;承受拉伸载荷的零件宜选钢材;承受压缩载荷的零件宜选铸铁;承受冲击载荷的零件,宜选用韧性好的材料;承受静应力的零件,宜选用屈服极限较高的材料;在变应力条件下工作的零件,宜选用疲劳强度较高的材料。当零件尺寸取决于刚度,且尺寸重量受到限制时,应选用弹性模量较大的材料或弹性模量与密度之比值较高的材料。当零件的尺寸取决于接触强度时,应选用可进行表面强化处理的材料,如齿轮齿面经渗碳、氮化或碳氮共渗等热处理后,其接触强度比正火或调质处理的钢大为提高。对在滑动摩擦条件下工作的零件,应选用减摩性能好的材料。在腐蚀介质中工作的零件应选用耐腐蚀的材料。对于重要零件,应选用综合性能较好的材料。

2. 工艺要求

所选材料应与零件结构的复杂程度、尺寸大小以及毛坯的制造方法相适应。如外形复杂、尺寸较大的零件,若拟用铸造毛坯,则应选用适合铸造的材料;若拟用焊接毛坯,则应选用焊接性能较好的材料。尺寸小、外形简单、批量大的零件,适于冲压或模锻,应选用塑性较好的材料。

3. 经济性要求

在机械零件的成本中,材料费用约占30%以上,有的甚至达到50%,可见选用廉价材料有重大的意义。选用廉价材料,节约原材料,特别是贵重材料,是机械设计的基本原则。为了使零件的综合成本最低,除了要考虑原材料的价格外,还要考虑零件的制造费用。例如铸铁虽比钢材价廉,但对一些单件生产的机座,采用钢板型材焊接往往比用铸铁铸造快而且成本低。

1.3.2 机械零件的常用材料

机械零件常用的材料有钢、铸铁、有色金属合金、非金属材料 and 复合材料。

1. 钢

钢是机械制造中应用最广和最重要的材料之一。按照化学成分,钢可分为碳素钢和合金钢;按照零件加工工艺,可分为铸钢和锻钢;按照用途,可分为结构钢、工具钢和特殊钢。

碳素结构钢在机械设计中最为常用。碳素结构钢分为普通碳素钢和优质碳素钢两类。对于受力不大,而且基本上承受静应力的不太重要的零件,可以选用普通碳素钢。普通碳素钢(如Q215、Q235等)只保证机械性能,不保证其化学成分,并且不适宜作热处理,故一般用于不太重要的或不需热处理的零件和工程结构件。碳素钢的性能主要取决于其碳的质量分数。低碳钢(碳的质量分数低于0.25%)可淬性较差,一般用于退火状态下强度不高的零件(如螺钉、螺母、小轴),也用于锻件和焊接件。低碳钢经渗碳处理可用于制造表面硬、耐磨并承受冲击负荷的零件。中碳钢(碳的质量分数为0.25%~0.5%)可淬性以及综合机械性能均较好,可进行淬火、调质或正火处理,用于制造受力较大的螺栓、键、轴、齿轮等零件。高碳钢(碳的质量分数大于0.5%)可淬性更好,经热处理后有较高的硬度和强度,主要用于制造

弹簧、钢丝绳等高强度零件。优质碳素钢(如 15、45、50 钢)可同时保证其机械性能和化学成分,可用于制造须经热处理的较重要的零件。

合金钢是在碳钢中加入某些合金元素冶炼而成。每一种合金元素的质量分数低于 2% 或合金元素总的质量分数低于 5% 的称为低合金钢;其中某一种或多种合金元素的质量分数为 2%~5% 或合金元素总的质量分数为 5%~10% 的称为中合金钢;其中某一种合金元素的质量分数高于 5% 或合金元素总的质量分数高于 10% 的称为高合金钢。合金元素不同时,钢的机械性能有较大的变动并具有各种特殊性质。例如,铬能提高钢的硬度,并能在高温下防锈耐酸;镍使钢具有很高的强度、塑性与韧性;钼能提高钢的硬度和强度,特别能使钢具有较高的耐热性;锰能使钢具有良好的淬透性、耐磨性。同时含有几种合金元素的合金钢(如铬锰钢、铬钒钢、铬镍钢),其性能的改变更为显著。但合金钢较碳素钢价贵,对应力集中亦较敏感,通常在碳素钢难以胜任工作时才考虑采用。此外,合金钢如不经热处理,其机械性能并不明显优于碳素钢,因此,合金钢零件一般都需进行热处理,以充分发挥材料的潜在机械性能。

无论是碳素钢还是合金钢,用浇铸法所得的铸件毛坯均称为铸钢。铸钢主要用于制造承受重载的大型结构复杂的零件。铸钢强度明显高于铸铁,与碳素钢接近。铸钢的弹性模量约为铸铁的 2 倍,因此减振性不如铸铁。铸钢内产生缩孔等缺陷,铸造工艺性不如铸铁。铸钢品种很多,有碳素铸钢、低合金铸钢、耐蚀铸钢、耐热铸钢等。常用钢的机械性能及应用举例可参阅附录 B。

2. 铸铁

碳的质量分数大于 2% 的铁碳合金称为铸铁。铸铁是用量最多的机械结构材料。铸铁成本低廉,耐磨和减振性能好。铸铁一般分为灰铸铁、球墨铸铁、可锻铸铁和特殊性能铸铁等,其中最常用的是灰铸铁。

灰铸铁(HT)主要用于中等载荷以下的结构件、复杂的薄壁件和润滑条件下的摩擦副零件等。灰铸铁的强度极限随壁厚增加而降低。另外,设计时应考虑工艺需要,使零件的壁厚尽可能一致。灰铸铁的抗压强度与抗拉强度比约为 4:1,因此在结构上应当尽量使铸件受压缩,不受或少受拉伸或弯曲。灰铸铁的弹性模量比钢低,刚度比钢差。灰铸铁减振性能好,常用于机器的机座及机体等。灰铸铁属脆性材料,不适宜承受冲击载荷,也不能碾压和锻造,不易焊接。

球墨铸铁(QT)基体中的石墨(碳)呈球状,提高了基体强度和承受应力集中的能力,其强度比灰铸铁高一倍,和普通碳素钢接近。球墨铸铁价格比钢便宜,广泛用于受冲击载荷的高强度铸件,如曲轴、齿轮等。

可锻铸铁(KT)主要用于尺寸很小、形状复杂、不能用铸钢和锻钢制造的铸件,而灰铸铁又不能满足强度和高延伸率要求时的情况。可锻铸铁零件是铸件而不是锻件。可锻铸铁强度和塑性接近于普通碳素钢和球墨铸铁。

常用灰铸铁和球墨铸铁的机械性能及应用举例可参阅附录 B。

3. 有色金属合金

有色金属合金(如铜合金)具有某些特殊的性能,如良好的减摩性、跑合性、抗腐蚀性、抗

磁性、导电性等。

铜合金具有良好的导电性、导热性、耐蚀性和延展性,是良好的减摩和耐磨材料。铜合金可分为黄铜和青铜两类。黄铜是铜和锌的合金,不生锈、不腐蚀、具有良好的塑性及流动性,能碾压和铸造成各种型材和零件。青铜分为锡青铜和无锡青铜两种。锡青铜是铜、锡合金,而铜和铝、铁、铅、硅、锰、铍等合金统称为无锡青铜。无锡青铜的机械性能比锡青铜高,但减摩性较差。黄铜、青铜均可铸造和碾压。轴承合金为铜、锡、铅、锑的合金,其减摩性、导热性、抗胶合性都很好,但强度低且价格较贵,常浇注在强度较高的基体金属表面形成减摩表层使用。常用铜合金、轴承合金的机械性能及应用举例可参阅附录 B。

4. 非金属材料

机械零件制造中应用的非金属材料种类很多,有塑料、橡胶、陶瓷、木材、毛毡、皮革等。其中,塑料是非金属材料中发展最快、应用最广的材料。工业上常用的塑料有:聚氯乙烯、尼龙、聚甲醛、酚醛、环氧树脂、玻璃钢、聚四氟乙烯等。塑料的重量轻、绝缘、耐磨、耐蚀、消声、抗振,有良好的自润滑性及尺寸稳定性,易于加工成形,加入填充剂后可以获得较高的机械强度,因而可以代替金属作支架、盖板、阀件、管件、承受轻载的齿轮、蜗轮、凸轮等。但一般工程塑料耐热性差,且会因逐步老化而使性能逐渐变差。橡胶也是应用广泛的非金属材料。橡胶富有弹性,有较好的缓冲、减振、耐磨、绝缘等性能,常用作弹性元件及密封装置中。

1.4 机械传动系统设计

由于原动机的输出转速、转矩、运动形式往往和工作机的要求不同,因此需要在它们之间采用传动系统装置。由于传动装置的选用、布局及其设计质量对整个设备的工作性能、重量和成本等影响很大,因此合理地拟定传动方案具有重要的意义。

机械传动系统的设计是一项比较复杂的工作。在机械传动系统设计之前必须首先确定好机械系统的传动方案。为了能设计出较好的传动方案,需要在对各种传动型的性能、运动、工作特点和适用场合等进行深入、全面了解的基础上,多借鉴、参考别人的成功设计经验。

机械传动系统设计的内容为:确定传动方案,选定电动机型号、计算总传动比和合理分配各级传动比,计算传动装置的运动和动力参数。

1.4.1 传动方案的确定

为了满足同一工作机的性能要求,可采用不同的传动机构、不同的组合和布局,在总传动比保持不变的情况下,还可按不同的方法分配各级传动的传动比,从而得到多种传动方案以供分析、比较。合理的传动方案首先要满足机器的功能要求,例如传递功率的大小、转速和运动形式。此外还要适应工作条件(工作环境、场地、工作制度等),满足工作可靠、结构简单、尺寸紧凑、传动效率高、使用维护便利、工艺性好、成本低等要求。要同时满足这些要求是比较困难的,但必须满足最主要和最基本的要求。



机械系统
传动性能
综合实验

图 1.1 是电动绞车的三种传动方案,其中图 1.1(a)方案采用二级圆柱齿轮减速器,适合于繁重及恶劣条件下长期工作,使用及维护方便,但结构尺寸较大;图 1.1(b)方案采用蜗轮蜗杆减速器,结构紧凑,但传动效率较低,对于长期连续使用时就不经济;图 1.1(c)方案用一级圆柱齿轮减速器和开式齿轮传动,成本较低,但使用寿命较短。从上述分析可见,虽然这三种方案都能满足电动绞车的功能要求,但结构、性能和经济性都不同,要根据工作条件要求来选择较好的方案。

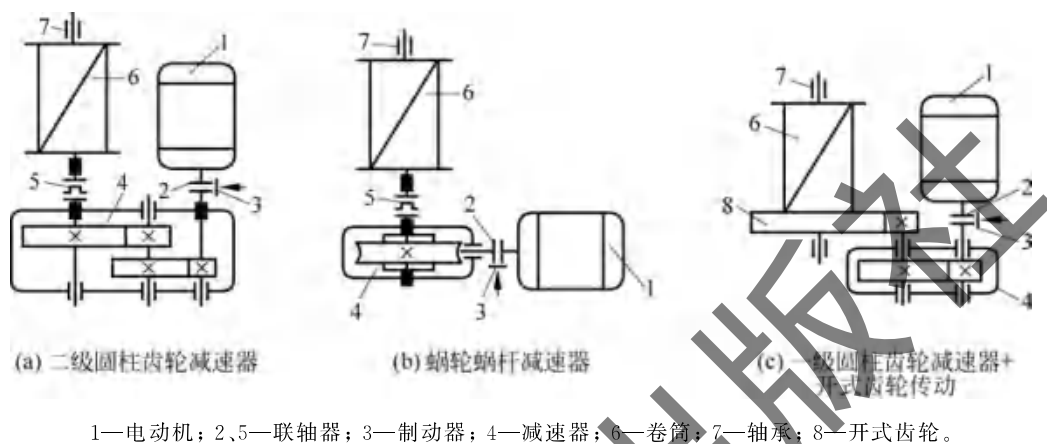


图 1.1 电动绞车传动方案简图

为了便于在多级传动方案中合理和正确地选择有关的传动机构及其排列顺序,以充分发挥各自的优势,在拟定传动方案时应注意下面的几点:

(1) 带传动具有传动平稳、吸收振动等特点,而且能起过载保护作用,但由于它是靠摩擦力来工作的,为了避免结构尺寸过大,通常把带传动布置在高速级。

(2) 链传动因具有瞬时传动比不稳定的运动特性,应将其布置在低速级,以尽量减小导致产生冲击的加速度。

(3) 斜齿圆柱齿轮传动具有传动平稳、承载能力大的优点,加工也不困难,故在没有变速要求的传动装置中,大多采用斜齿圆柱齿轮传动。如传动方案中同时采用了斜齿和直齿圆柱齿轮传动,应将斜齿圆柱齿轮传动布置在高速级。在斜齿圆柱齿轮减速器中,应使轮齿的旋向有利于轴承受力均匀或使轴上各传动零件产生的轴向力能相互抵消一部分。另外,为了补偿因轴的变形而导致载荷沿齿宽方向分布不均,应尽可能使输入和输出轴上的齿轮远离轴的伸出端。

(4) 蜗杆传动具有传动比大、结构紧凑、工作平稳等优点,但其传动效率低,故只用于传递功率不大、间断工作或要求自锁的场合。

(5) 开式齿轮传动因润滑条件及工作环境都较差,因而磨损较快,故通常布置在低速级。

为了便于设计时选择传动装置,表 1.1 列出了常用减速器的类型及特性。各种机械传动的传动比可参考表 1.2。

若课程设计任务书中已提供了传动方案,则应对该方案的可行性、合理性及经济性进行论证,也可提出改进性意见并另行拟定方案。

表 1.1 常用减速器的类型及特性

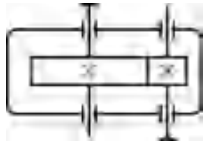
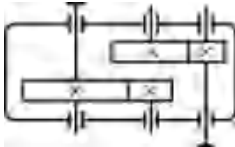
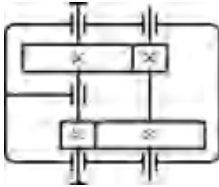
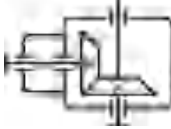
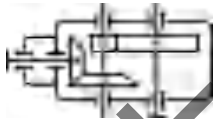
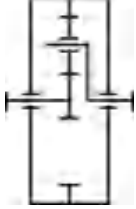
名 称	简 图	特性与应用场合
单级圆柱齿轮减速器		轮齿可用直齿、斜齿或人字齿。直齿用于低速($v \leq 8\text{m/s}$)或载荷较轻的传动,斜齿或人字齿用于较高速($v = 25 \sim 50\text{m/s}$)或载荷较重的传动。箱体常用铸铁制造,轴承常用滚动轴承。传动比范围: $i = 3 \sim 6$,直齿 $i \leq 4$,斜齿 $i \leq 6$
两级展开式圆柱齿轮减速器		高速级常用斜齿,低速级可用直齿或斜齿。由于相对于轴承不对称,要求轴具有较大的刚度。高速级齿轮在远离转矩输入端,以减少因弯曲变形所引起的载荷沿齿宽分布不均的现象。常用于载荷较平稳的场合,应用广泛。传动比范围: $i = 8 \sim 40$
两级同轴式圆柱齿轮减速器		箱体长度较短,轴向尺寸及重量较大,中间轴较长、刚度差及其轴承润滑困难。当两大齿轮浸油深度大致相时,高速级齿轮的承载能力难以充分利用。仅有一个输入轴和输出轴,传动布置受到限制。传动比范围: $i = 8 \sim 40$
单级圆锥齿轮减速器		用于输入轴和输出轴的轴线垂直相交的传动。有卧式和立式两种。轮齿加工较复杂,可用直齿、斜齿或曲齿。 $i = 2 \sim 5$,直齿 $i \leq 3$,斜齿 $i \leq 5$
两级圆锥-圆柱齿轮减速器		用于输入轴和输出轴的轴线垂直相交且传动比较大的传动。圆锥齿轮布置在高速级,以减少圆锥齿轮的尺寸,便于加工。 $i = 8 \sim 25$
单级蜗杆减速器		传动比大,结构紧凑,但传动效率低,用于中小功率、输入轴和输出轴垂直交错的传动。蜗杆下置式的润滑条件较好,应优先选用。当蜗杆圆周速度 $v > 4 \sim 5\text{m/s}$ 时,应采用上置式,此时蜗杆轴承润滑条件较差。 $i = 10 \sim 40$
NGW 型单级行星齿轮减速器		比普通圆柱齿轮减速器的尺寸小,重量轻,但制造精度要求高,结构复杂。用于要求结构紧凑的动力传动。 $i = 3 \sim 12$

表 1.2 各种机械传动的传动比

传动类型			传动比的推荐值	传动比的最大值
一级圆柱 齿轮传动	闭式	直齿	$\leq 3 \sim 4$	≤ 10
		斜齿	$\leq 3 \sim 6$	≤ 10
	开式		$\leq 3 \sim 7$	$\leq 15 \sim 20$

续表

传动类型			传动比的推荐值	传动比的最大值
一级圆锥 齿轮传动	闭式	直齿	$\leq 2 \sim 3$	≤ 6
		斜齿	$\leq 3 \sim 4$	≤ 6
	开式		≤ 5	≤ 8
蜗杆传动	闭式		$7 \sim 40$	≤ 80
	开式		$15 \sim 60$	≤ 120
带传动	开口平带		$\leq 2 \sim 4$	≤ 6
	V 带		$\leq 2 \sim 4$	≤ 7
链传动	滚子链		$\leq 2 \sim 5$	≤ 8
圆柱摩擦轮传动			$\leq 2 \sim 4$	≤ 5

1.4.2 电动机的选择

电动机的选择应在传动方案确定之后进行,其目的是在合理地选择其类型、功率和转速的基础上,具体确定电动机的型号。

1. 选择电动机类型和结构型式

电动机的类型和结构型式要根据电源(交流或直流)、工作条件和载荷特点(性质、大小、起动性能和过载情况)来选择。工业上广泛使用三相异步电动机。对载荷平稳、不调速、长期工作的机器,可采用鼠笼式异步电动机。Y 系列电动机为我国推广采用的新设计产品,它具有节能、起动性能好等优点,适用于不含易燃、易爆和腐蚀性气体的场合以及无特殊要求的机械中(见附录 K)。对于经常启动、制动和反转的场合,可选用转动惯量小、过载能力强的 YZ 型、YR 型和 YZR 型等系列的三相异步电动机。

电动机的结构有开启式、防护式、封闭式和防爆式等,可根据工作条件选用。同一类型的电动机又具有几种安装型式,应根据安装条件确定。

2. 确定电动机的功率

电动机的功率选择是否恰当,对电动机的正常工作和成本都有影响。所选电动机的额定功率应等于或稍大于工作要求的功率。功率小于工作要求,则不能保证工作机正常工作,或使电动机长期过载、发热大而过早损坏;但功率过大,则增加成本,并且由于效率和功率因数低而造成浪费。电动机的功率主要由运行时的发热条件限定,由于课程设计中的电动机大多是在常温 and 载荷不变(或变化不大)的情况下长期连续运转,因而,在选择其功率时,只要使其所需的实际功率(简称电动机所需功率) P_d 不超过额定功率 P_{ed} ,即可避免过热。即使 $P_{ed} \geq P_d$ 。

1) 工作机主轴所需功率

若已知工作机主轴上的传动滚筒、链轮或其他零件上的圆周力(有效拉力) F (单位为 N)和圆周速度(线速度) v (单位为 m/s),则在稳定运转下,工作机主轴上所需功率 P_w 按下式计算:

$$P_w = \frac{Fv}{1000}, \text{kW} \quad (1.7)$$

若已知工作机主轴上的传动滚筒、链轮或其他零件的直径 D (单位为 mm) 和转速 n (单位为 r/min), 则圆周速度 v 按下式计算:

$$v = \frac{\pi D n}{60 \times 1000}, \text{m/s} \quad (1.8)$$

若已知工作机主轴上的转矩 T (N·m) 和转速 n (r/min), 则工作机主轴所需功率 P_w 按下式计算:

$$P_w = \frac{T \cdot n}{9550}, \text{kW} \quad (1.9)$$

有的工作机主轴上所需功率, 可按专业机械有关的要求和数据计算。

2) 电动机所需功率

电动机所需功率 P_d 按下式计算:

$$P_d = \frac{P_w}{\eta}, \text{kW} \quad (1.10)$$

式中, P_w 为工作机主轴所需功率, 单位为 kW; η 为由电动机至工作机主轴之间的总效率。

总效率 η 按下式计算:

$$\eta = \eta_1 \eta_2 \eta_3 \cdots \eta_n \eta_w \quad (1.11)$$

式中, $\eta_1, \eta_2, \eta_3, \cdots, \eta_n$ 分别为传动装置中每一传动副(齿轮、蜗杆、带或链)、每对轴承、每个联轴器的效率, 其概略值见表 1.3; η_w 为工作机的效率。

计算总效率时, 要注意以下几点:

(1) 选用 η_i 数值时, 一般取中间值, 如工作条件差、润滑不良取低值, 反之取高值。

(2) 动力每经一对运动副或传动副, 就有一次功耗, 故在计算总效率时, 都要计入。

(3) 表 1.3 中的传动效率仅是传动啮合效率, 未计入轴承效率, 故轴承效率需另计。表中轴承效率均指的是一对轴承的效率。

表 1.3 机械传动效率

类别	传动形式	效率 η	类别	传动形式	效率 η
圆柱齿轮传动	6~7 级精度	0.98~0.995	滚动轴承	球轴承	0.99(一对)
	8 级精度	0.97		滚子轴承	0.98(一对)
	9 级精度	0.96	滑动轴承	正常润滑	0.97
	开式	0.95		不良润滑	0.94
圆锥齿轮传动	6~7 级精度	0.97~0.98		压力油润滑	0.98
	8 级精度	0.94~0.97		液体摩擦	0.99
	9 级精度	0.93~0.95	联轴器	弹性联轴器	0.99~0.995
	开式	0.93		齿式联轴器	0.99
带传动	无交叉平带传动	0.97~0.98		万向联轴器	0.95~0.98
	交叉平带传动	0.90		刚性联轴器	1
	V 带传动	0.95		十字滑块联轴器	0.97~0.99
	同步带传动	0.96~0.98	蜗杆传动	自锁蜗杆	0.40~0.50
链传动	滚子链	0.96		单头蜗杆	0.70~0.75
	齿形链	0.98		双头蜗杆	0.75~0.82
	焊接链	0.93		3~4 头蜗杆	0.82~0.92
	片式关节链	0.95		环面蜗杆传动	0.85~0.95

3. 确定电动机的转速

同一功率的异步电动机有 3000r/min、1500r/min、1000r/min、750r/min 等几种同步转速。一般来说,电动机的同步转速越高,磁极对数越少,外廓尺寸越小,价格越低;反之,转速越低,外廓尺寸越大,价格越贵。因此,在选择电动机转速时,应综合考虑与传动装置有关的各种因素,通过分析比较,选出合适的转速。一般选用同步转速为 1000r/min 和 1500r/min 的电动机为宜。

根据选定的电动机类型、功率和转速由附录 K 中查出电动机的具体型号和外形尺寸。后面传动装置的计算和设计就按照已选定的电动机型号的额定功率 P_{ed} 、满载转速 n_m 、电动机的中心高度、外伸轴径和外伸轴长度等条件进行工作。

例 1.1 设计运送原料的带式运输机用的齿轮减速器。根据表 1.4 给定的工况参数,选择适当的电动机、联轴器,设计 V 带传动、二级圆柱齿轮(斜齿)减速器(所有的轴、齿轮、滚动轴承、减速器箱体、箱盖以及其他附件)和与输送带连接的联轴器,设计方案如图 1.2 所示。已知滚筒及运输带的效率 $\eta=0.94$ 。工作时,载荷有轻微冲击。室内工作,水分和颗粒为正常状态,产品生产批量为成批生产,允许总速比误差 $<\pm 4\%$,要求齿轮使用寿命为 10 年,二班工作制,滚动轴承使用寿命不小于 15 000h。

表 1.4 原始数据

输送带拉力 F/N	输送带速度 $v/(m/s)$	驱动带轮直径 D/m
4337.12	1.82	1.135

解: 1) 传动方案的选择

图 1.2 为传动方案的示意图,在空间和形式均没有要求的情况下,该传动装置的布置可以有如下 4 种不同的方案:

- (1) 电机在带轮右侧,高速齿轮远离带轮(图 1.2(a))。
- (2) 电机在带轮右侧,高速齿轮靠近带轮(图 1.2(b))。
- (3) 电机在带轮左侧,高速齿轮远离带轮(图 1.2(c))。
- (4) 电机在带轮左侧,高速齿轮靠近带轮(图 1.2(d))。

在以上 4 种方案中,方案(3)、方案(4)的两根轴所受弯矩是一样的,方案(1)和方案(3)的低速轴所受转矩略长。而 4 个方案的高速轴则大不相同,其中方案(4)的高速轴所受弯矩最小,因此如果没有特殊要求,该方案更合理些。下面按该方案进行设计。

2) 电动机选择类型、功率与转速

(1) 按工作条件和要求,选用 Y 系列三相异步电动机。

(2) 选择电动机的功率。

计算工作机所需的功率

$$P_w = Fv = 4337.12 \times 1.82 \div 1000 = 7.89 \text{ kW}$$

初选: 联轴器为弹性联轴器,滚动轴承为圆锥滚子轴承,齿轮为精度等级为 7 的闭式圆柱斜齿轮,带传动为普通 V 带传动。根据表 1.3 可知,总效率为

$$\eta_{\text{总}} = \eta_{\text{带}} \eta_{\text{齿轮}}^2 \eta_{\text{轴承}}^3 \eta_{\text{联}} \eta_{\text{工}} = 0.95 \times 0.98^2 \times 0.98^3 \times 0.99 \times 0.94 = 0.78$$

电动机所需的功率为

$$P_d = \frac{P_w}{\eta_{\text{总}}} = \frac{7.89}{0.78} = 10.12 \text{ kW}$$

考虑到在各零部件设计时需要有一定的工况系数,取电动机的工况系数为 1.3,则电动机的额定功率